



Peningkatan Throughput Produksi Manufaktur dengan Simulasi DES dan Teknik Optimasi Taguchi

Improving Manufacturing Production Throughput with DES Simulation and Taguchi Optimization Technique

Indra Gumelar¹, Diki Muchtar^{1,*}, Rikzan Bahrul Ulum¹, Wanwan Jamaludin¹, Iman Toriq²

¹ Teknik Industri, Sekolah Tinggi Teknologi Wastukancana, Purwakarta, Indonesia

² Manajemen Industri, Sekolah Tinggi Teknologi Wastukancana, Purwakarta, Indonesia

Abstrak: Peningkatan throughput produksi merupakan salah satu tantangan utama dalam sistem manufaktur. Penelitian ini bertujuan untuk meningkatkan throughput dengan menggunakan simulasi Discrete Event Simulation (DES) yang digabungkan dengan teknik optimasi Taguchi untuk mengidentifikasi faktor-faktor kunci yang mempengaruhi kinerja produksi. Simulasi dilakukan pada sebuah sistem produksi manufaktur dengan tiga faktor yang diuji, yaitu X1, X2, dan X3, serta dua respons utama: throughput (Y1) dan bottleneck (Y2). Berdasarkan hasil simulasi, ditemukan bahwa peningkatan nilai faktor X3 berkontribusi signifikan terhadap peningkatan throughput, sementara simultan dengan penurunan persentase bottleneck yang menunjukkan efisiensi yang lebih baik dalam lini produksi. Misalnya, pada eksperimen run 7 ($X1 = 3, X2 = 0,4, X3 = 0,4$), throughput mencapai 3.525 pieces, dengan persentase bottleneck yang sangat rendah yaitu 9,66%. Hasil simulasi lainnya juga menunjukkan peningkatan throughput dengan pengurangan bottleneck, seperti pada run 8 dan run 9, yang masing-masing memiliki throughput 3.524 pieces dan 2.936 pieces, dengan bottleneck 19,66% dan 15,66%, menunjukkan hasil yang lebih optimal. Teknik optimasi Taguchi digunakan untuk meminimalkan variabilitas dan memperbaiki kualitas output sistem produksi. Hasil dari penelitian ini menunjukkan bahwa kombinasi Simulasi DES dan optimasi Taguchi berhasil meningkatkan throughput produksi secara signifikan dengan mengurangi bottleneck dalam proses produksi. Penelitian ini memberikan kontribusi pada penerapan simulasi dan optimasi dalam meningkatkan efisiensi produksi di industri manufaktur, dengan harapan dapat diadaptasi untuk berbagai jenis sistem produksi lainnya.

Keywords: Bottleneck; Optimasi Taguchi; Produksi Manufaktur; Throughput; Simulasi DES

Abstract: Improving throughput in production is one of the main challenges in manufacturing systems. This study aims to enhance throughput by using Discrete Event Simulation (DES) combined with the Taguchi optimization technique to identify key factors influencing production performance. The simulation was conducted on a manufacturing production system with three tested factors: X1, X2, and X3, as well as two main responses: throughput (Y1) and bottleneck (Y2). Based on the simulation results, it was found that an increase in factor X3 significantly contributed to throughput improvement, while simultaneously reducing the bottleneck percentage, indicating better efficiency in the production line. For example, in experiment run 7 ($X1 = 3, X2 = 0,4, X3 = 0,4$), throughput reached 3,525 pieces, with a very low bottleneck percentage of 9.66%. Other simulation results also showed throughput improvements with reduced bottleneck, such as in runs 8 and 9, which had throughput of 3,524 pieces and 2,936 pieces, with bottleneck percentages of 19.66% and 15.66%, respectively, showing more optimal results. The Taguchi optimization technique was used to minimize variability and improve the quality of the production system output. The results of this study indicate that the combination of DES simulation and Taguchi optimization successfully increased production throughput significantly while reducing bottlenecks in the production process. This study contributes to the application of simulation and optimization in improving production efficiency in the manufacturing industry, with the hope that it can be adapted to various types of production systems.

Keywords: Bottleneck; Discrete Event Simulation; Manufacturing Production; Throughput; Taguchi Optimization Method

* Corresponding author : diki.muchtar@wastukancana.ac.id

<https://doi.org/10.51132/teknologika.v16i1>

Received : 30-04-2026

Accepted : 21-05-2026

Available online : 31-05-2026

1. Pendahuluan

Peningkatan throughput dalam produksi manufaktur sangat penting untuk mencapai efisiensi dan produktivitas yang optimal. Throughput, yang didefinisikan sebagai jumlah material atau produk yang melewati suatu sistem, memiliki pengaruh langsung terhadap kinerja keseluruhan sistem manufaktur. Salah satu tantangan utama yang sering dihadapi dalam produksi adalah adanya bottleneck, yaitu hambatan yang menghalangi aliran material dan menurunkan efisiensi produksi. Untuk mengatasi hambatan ini, berbagai teknik simulasi dan optimasi digunakan untuk memodelkan aliran material dan mengevaluasi berbagai strategi untuk meningkatkan throughput. Salah satu alat yang efektif untuk tujuan ini adalah Discrete Event Simulation (DES), yang memungkinkan analisis aliran material dan identifikasi bottleneck dalam sistem produksi [1] [2] [3].

Simulasi telah lama digunakan dalam berbagai aplikasi untuk meningkatkan kinerja sistem manufaktur. Dalam konteks ini, simulasi digunakan untuk menganalisis bottleneck dalam proses produksi pakaian [1] [17], serta untuk meningkatkan efisiensi produksi dalam manufaktur digital [4]. Penelitian lain menunjukkan pentingnya pendekatan simulasi dalam mengevaluasi sistem manufaktur di sektor industri Kenya [5]. Dalam pengembangan simulasi, penting juga untuk mempertimbangkan aspek perawatan prediktif pada sistem manufaktur, seperti yang dijelaskan dalam integrasi pemeliharaan prediktif untuk memperbaiki sistem manufaktur multistate [6].

Dalam hal optimasi, metode Taguchi dikenal luas karena kemampuannya untuk meningkatkan kualitas dan efisiensi produksi dengan meminimalkan variasi dan meningkatkan kinerja sistem. Metode ini telah diaplikasikan secara luas dalam berbagai industri untuk mengoptimalkan parameter dan mencapai hasil yang diinginkan. Misalnya, dalam perencanaan pengobatan radiasi, metode Taguchi diterapkan untuk meningkatkan perencanaan proses terapi radiasi [11], dan dalam optimasi mesin otomatis untuk meningkatkan kinerja dan efisiensi produksi di industri manufaktur [16].

Selain itu, simulasi juga digunakan dalam konteks optimasi proses dan aliran material, seperti yang diterapkan untuk mengatasi bottleneck dalam aliran logistik menggunakan modul Kanban dalam perangkat lunak Tecnomatix [9]. Penelitian juga mengaplikasikan sistem dinamis untuk menghubungkan permintaan dan ketahanan diri Qatar terhadap pasokan pangan, energi, dan air [7].

Salah satu tantangan utama dalam sistem manufaktur adalah memodelkan dan mengelola variabilitas serta kecacatan dalam produk, yang dibahas dalam pengembangan jaringan saraf graf untuk menghubungkan parameter proses dengan cacat produk [8]. Penggunaan simulasi proses untuk manufaktur keramik porselen menunjukkan bagaimana simulasi dapat meningkatkan efisiensi produksi dalam industri bahan bangunan [10].

Meskipun telah banyak penelitian yang menggunakan simulasi dan metode optimasi, sedikit penelitian yang menggabungkan kedua teknik tersebut dalam upaya peningkatan throughput. Penelitian ini bertujuan untuk mengisi kekosongan ini dengan mengintegrasikan DES dengan metode optimasi Taguchi untuk meningkatkan throughput dalam proses produksi manufaktur. Salah satu aspek penting dalam penelitian ini adalah optimasi multi-respons, yang relevan untuk situasi di mana banyak variabel harus dipertimbangkan secara bersamaan, seperti yang dibahas dalam penerapan model digital twin untuk simulasi produksi dalam manufaktur bahan makanan [12].

Pendekatan yang menggabungkan simulasi DES dan metode optimasi Taguchi diharapkan dapat memberikan solusi yang lebih komprehensif untuk mengatasi bottleneck dan meningkatkan throughput dalam sistem manufaktur. Pendekatan ini juga dapat diterapkan untuk meningkatkan efisiensi sistem manufaktur yang melibatkan banyak faktor dan variabel, seperti yang dijelaskan dalam optimasi rencana inspeksi untuk sistem manufaktur multi-tahap [15]. Penelitian ini akan menggabungkan kedua teknik tersebut untuk menghasilkan model yang lebih akurat dan efisien dalam meningkatkan throughput.

Keunikan dari penelitian ini terletak pada integrasi DES dengan metode Taguchi, yang menawarkan solusi untuk meningkatkan throughput dan mengatasi bottleneck dalam sistem manufaktur. Dengan menggunakan pendekatan yang lebih holistik dan integratif, penelitian ini

diharapkan dapat memberikan wawasan baru dalam bidang optimasi produksi dan memberikan kontribusi signifikan terhadap peningkatan efisiensi dan produktivitas di sektor manufaktur.

Artikel ini disusun dalam beberapa bagian utama. Bagian pendahuluan menjelaskan latar belakang, permasalahan, tujuan penelitian, serta tinjauan pustaka yang mendukung penelitian. Selanjutnya, bagian metodologi memaparkan tahapan penelitian, pengumpulan data, pemodelan menggunakan Discrete Event Simulation (DES), serta penerapan metode Taguchi untuk optimasi throughput. Bagian hasil dan pembahasan menyajikan hasil simulasi, analisis bottleneck, serta evaluasi parameter optimal yang diperoleh. Terakhir, bagian kesimpulan berisi rangkuman hasil penelitian dan saran untuk pengembangan penelitian selanjutnya. Selain itu, artikel ini juga diharapkan dapat memberikan gambaran praktis mengenai penerapan integrasi simulasi dan optimasi dalam meningkatkan kinerja sistem manufaktur. Dengan struktur tersebut, pembahasan penelitian dapat disajikan secara sistematis sehingga memudahkan pembaca dalam memahami alur dan hasil penelitian yang dilakukan.

2. Metodologi

Metodologi penelitian ini menggabungkan pendekatan simulasi dan teknik optimasi untuk meningkatkan throughput dalam sistem produksi manufaktur pakaian terutama di departemen Finishing & Packing. Langkah pertama dalam penelitian ini adalah pemodelan sistem produksi menggunakan Discrete Event Simulation (DES), yang memungkinkan peneliti untuk mensimulasikan aliran material dan menganalisis bottleneck yang menghambat kinerja sistem manufaktur. Dalam hal ini, simulasi membantu untuk mengidentifikasi titik-titik lemah dalam proses produksi, serta memberi gambaran yang lebih jelas tentang interaksi antar elemen sistem. Simulasi ini dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak ProModel.

Selanjutnya, untuk mengoptimalkan parameter sistem yang telah dimodelkan, digunakan metode optimasi Taguchi. Metode ini berfokus pada meminimalisasi variabilitas dan peningkatan kinerja sistem dengan mempertimbangkan berbagai faktor yang dapat mempengaruhi hasil produksi. Penggunaan metode Taguchi dalam penelitian ini sejalan dengan temuan sebelumnya yang menunjukkan bahwa teknik ini efektif dalam mengoptimalkan proses produksi di berbagai industri [11] [16]. Pendekatan ini membantu untuk menemukan kombinasi parameter yang paling optimal, yang dapat meningkatkan throughput dan mengurangi pemborosan dalam sistem produksi.

Selain simulasi dan optimasi, penelitian ini juga menggunakan konsep multi-response optimization untuk mempertimbangkan berbagai variabel yang saling terkait dalam sistem produksi. Dalam konteks ini, multi-response optimization digunakan untuk mengevaluasi pengaruh beberapa faktor sekaligus pada hasil produksi. Pendekatan ini telah banyak diterapkan dalam penelitian sebelumnya yang menunjukkan keberhasilan optimasi multi-respons dalam industri manufaktur, terutama dalam mengoptimalkan berbagai variabel produksi seperti kualitas produk dan efisiensi biaya [12] [13] [14].

Dengan pendekatan ini, penelitian ini tidak hanya fokus pada optimasi satu faktor, tetapi juga berusaha untuk mengoptimalkan sistem produksi yang kompleks dengan mempertimbangkan dua faktor sekaligus. Pendekatan berbasis simulasi dan optimasi ini memberikan solusi yang lebih baik untuk meningkatkan kinerja dan efisiensi sistem manufaktur, sejalan dengan prinsip-prinsip yang diterapkan dalam berbagai sektor industri [10] [11] [16].

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Pengumpulan dan Pengolahan Data

Data diperoleh melalui observasi langsung, studi waktu, dan analisis dokumen produksi. Informasi utama yang dikumpulkan mencakup: waktu proses di setiap lokasi, kapasitas masing-masing lokasi, aliran material, urutan proses produksi, serta waktu perpindahan antar lokasi dalam jalur produksi. Pengukuran waktu dilakukan pada setiap elemen kerja menggunakan stopwatch dan metode studi

waktu, lalu diperiksa konsistensinya sebelum dilakukan analisis lebih lanjut. Tabel 1 berikut menunjukkan data tersebut.

Tabel 1. Data input simulasi

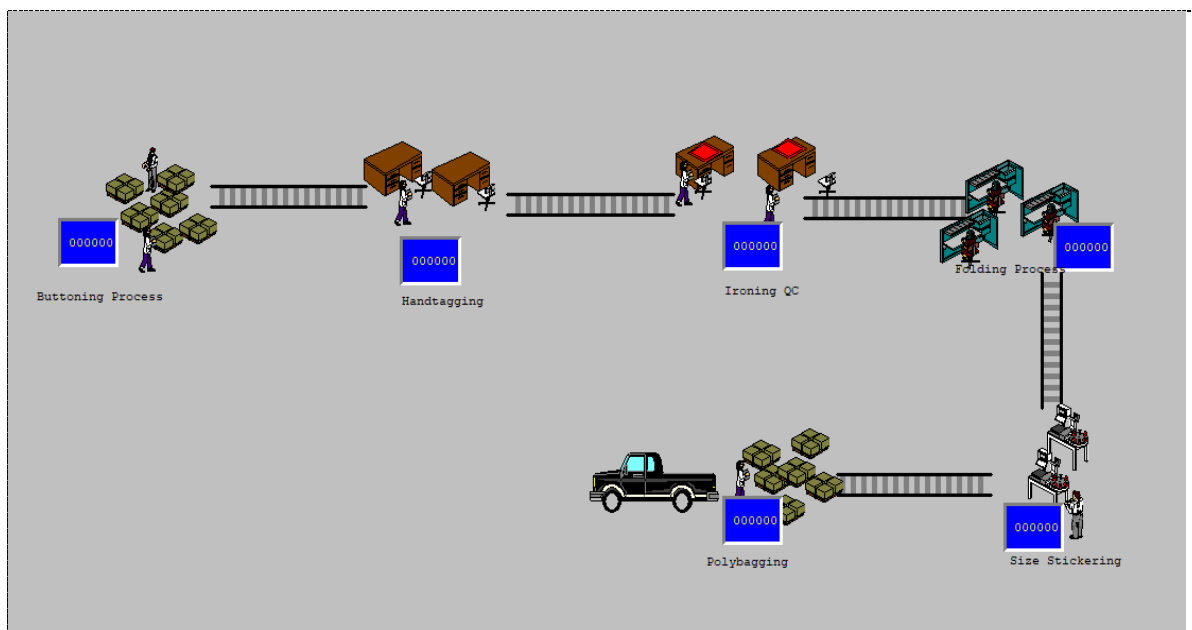
Lokasi	Waktu Proses (Min)	Kapasitas	Waktu pindah ke lokasi berikutnya (Min)
Buttoning Process	0,53	2	0,12
Handtagging	0,14	2	0,12
Ironing_QC	0,30	2	0,16
Folding_Process	0,30	2	0,05
Size_Stickering	0,06	2	0,05
Polybagging	0,50	3	-

3.2 Lokasi dan waktu penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di PT ABC yang berlokasi di Purwakarta. Pemilihan lokasi penelitian didasarkan pada kesesuaian perusahaan dengan objek dan kebutuhan penelitian yang dilakukan, sehingga diharapkan dapat memperoleh data yang relevan dan akurat. Adapun waktu pelaksanaan penelitian berlangsung mulai tahun 2025 hingga tahun 2026, yang mencakup tahap persiapan, pengumpulan data, pengolahan data, analisis hasil, hingga penyusunan laporan penelitian.

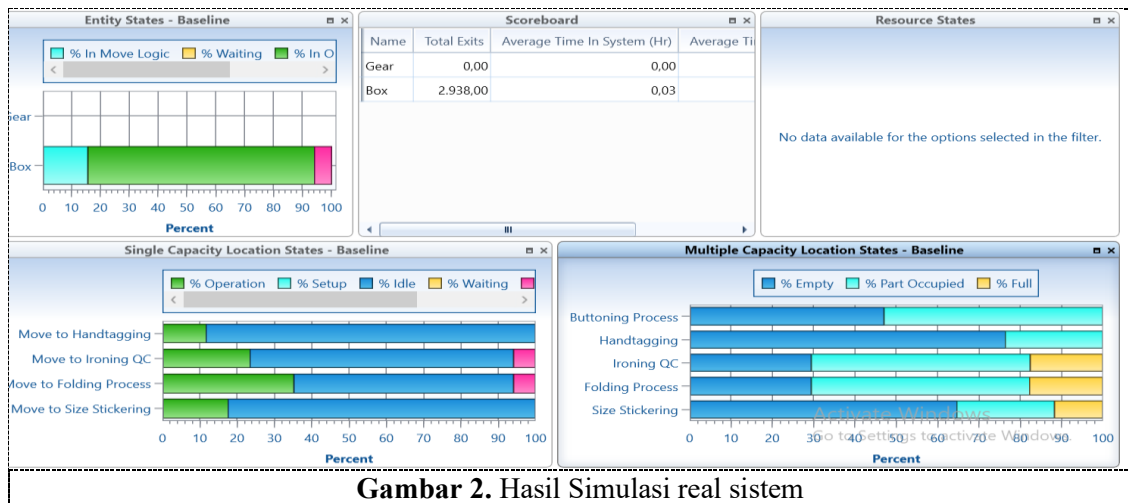
3.2 Model Simulasi

Dalam studi ini, model konseptual dari lini produksi pada kasus yang diteliti dirancang dan diaplikasikan. Setelah itu, data yang diperlukan dikumpulkan, kemudian model simulasi dibuat, dan hasil dari model tersebut dapat diperoleh.



Gambar 1. Model Simulasi

Berdasarkan hasil simulasi terhadap sistem nyata, bottleneck sistem diidentifikasi sebesar 21,66 % dan pada sistem menghasilkan throughput sebanyak 2.938 Pieces . Selanjutnya pada penelitian ini dengan DOE dan simulasi digunakan mengurangi bottleneck kemudian untuk meningkatkan throughput tersebut.



Gambar 2. Hasil Simulasi real sistem

3.3 Varabel faktor dan Respon

Faktor-faktor yang berpengaruh dari hasil studi dan analisa diambil dan seluruh faktor yang terpilih direview kembali hingga diperoleh daftar akhir dari faktor-faktor. Pada tahap akhir, peneliti memutuskan 3 faktor yang dinilai paling signifikan beserta 3 levelnya, yaitu: Kapasitas polibagging (X1), Waktu Proses Folding (X2), Waktu proses Ironing QC (X3). Tabel 2 memuat faktor-faktor tersebut beserta levelnya.

Tabel 2. Variabel Faktor dan Levelnya.

Factor	Level		
	Rendah	Sedang	Tinggi
Kapasitas polibagging (X1)	2	3	4
Waktu Proses Folding (X2)	0,1	0,3	0,5
Waktu proses Ironing QC (X3)	0,2	0,3	0,4

Response Variables pada studi ini adalah terdapat 2 variabel yang terdiri dari Throughput (Y1), bottleneck (Y2),. Tabel 3 menunjukkan Variabel Respon.

Tabel 3. Variabel Respon

Variable	Description	Current state
Y1	Throughput (Pieces)	2.938
Y2	Bottleneck (%)	21,66 %

Setelah Design Of Experiment (DOE) ditentukan dan simulasi dilakukan maka didapatkan hasil simulasi seperti yang bisa dilihat pada tabel 4 berikut ini:

Tabel 4. Hasil simulasi

Run Order	Factors			Respons	
	X1	X2	X3	Y1	Y2
1	2	0,1	0,2	2.220	58,33
2	2	0,3	0,3	2.220	46,66
3	2	0,5	0,4	2.220	49,66
4	3	0,1	0,3	3.231	27,66
5	3	0,3	0,4	2.936	21,33
6	3	0,5	0,2	2.937	25,33
7	4	0,1	0,4	3.525	9,66
8	4	0,3	0,2	3.524	19,66
9	4	0,5	0,3	2.936	15,66

Hasil simulasi yang ditampilkan dalam Tabel 4 memberikan gambaran yang jelas tentang bagaimana faktor-faktor yang mempengaruhi throughput produksi dapat dioptimalkan menggunakan metode Simulasi DES dan teknik optimasi Taguchi. Berdasarkan data yang ada, terlihat bahwa peningkatan throughput (Y1) terjadi pada pengaturan faktor X3 yang lebih tinggi. Misalnya, pada run 7, yang memiliki kombinasi $X1 = 3$, $X2 = 0,4$, dan $X3 = 0,4$, throughput tercatat sebesar 3.525 pieces, yang merupakan nilai tertinggi di antara eksperimen lainnya.

Selain itu, analisis terhadap faktor bottleneck (Y2) menunjukkan bahwa terdapat penurunan signifikan pada nilai persentase bottleneck saat throughput meningkat. Sebagai contoh, pada run 7, meskipun throughput mengalami peningkatan, bottleneck menurun drastis menjadi hanya 9,66%. Hal ini menunjukkan bahwa dengan penerapan teknik optimasi, tidak hanya throughput yang meningkat, tetapi juga efektivitas produksi dalam mengurangi hambatan di lini produksi.

Penerapan simulasi DES dalam studi ini sangat penting karena memungkinkan evaluasi dinamis dari variabel-variabel produksi yang saling berinteraksi, yang tidak dapat dilakukan dengan metode analitis tradisional. Sebagaimana dijelaskan dalam penelitian Muchtar [1], yang mengaplikasikan simulasi untuk analisis bottleneck dalam produksi garmen, simulasi memberikan pemahaman yang lebih mendalam mengenai perilaku sistem produksi dalam kondisi yang berbeda.

Dari hasil yang diperoleh, dapat dilihat bahwa melalui penerapan teknik Taguchi dalam eksperimen ini, pengaruh interaksi antar faktor dapat dioptimalkan untuk mencapai throughput yang lebih tinggi dengan meminimalkan bottleneck. Optimasi seperti ini juga sejalan dengan penelitian sebelumnya oleh Ngunzi et al. [5], yang menunjukkan keberhasilan simulasi dalam memodelkan dan meningkatkan kinerja sistem manufaktur melalui pendekatan optimasi.

Secara keseluruhan, hasil simulasi ini membuktikan efektivitas kombinasi Simulasi DES dan teknik optimasi Taguchi dalam meningkatkan throughput dan mengurangi bottleneck dalam proses produksi manufaktur. Hasil ini diharapkan dapat menjadi acuan dalam pengembangan strategi peningkatan kinerja produksi di industri manufaktur lainnya, khususnya dalam konteks pengurangan hambatan dan peningkatan output.

4. Kesimpulan

Penelitian ini telah mengimplementasikan metode Simulasi DES dan teknik optimasi Taguchi untuk meningkatkan throughput produksi dalam sistem manufaktur. Berdasarkan hasil simulasi yang dilakukan, dapat disimpulkan bahwa optimasi melalui pendekatan ini memberikan dampak yang signifikan terhadap peningkatan throughput sekaligus mengurangi bottleneck dalam proses produksi.

Pertama, hasil simulasi menunjukkan bahwa throughput (Y1) meningkat seiring dengan peningkatan faktor X3, yang berhubungan dengan pengaturan kapasitas dan waktu proses di setiap lokasi. Sebagai contoh, pada run 7, throughput mencapai nilai tertinggi sebesar 3.525 pieces dengan persentase bottleneck yang rendah, yaitu 9,66%. Hal ini menandakan bahwa dengan optimasi yang tepat, proses produksi dapat berjalan lebih efisien dengan hasil output yang maksimal.

Kedua, penerapan Simulasi DES memungkinkan analisis yang lebih mendalam mengenai interaksi antar faktor dalam sistem produksi. Seperti yang telah dibuktikan oleh Muchtar [1], simulasi memberikan pemahaman yang lebih jelas tentang dinamika sistem produksi, terutama dalam mengidentifikasi dan mengatasi bottleneck yang ada. Penurunan bottleneck yang signifikan pada eksperimen yang berhasil menunjukkan pentingnya peran simulasi dalam meningkatkan efisiensi operasional.

Ketiga, optimasi yang dilakukan dengan menggunakan teknik Taguchi juga terbukti efektif dalam meminimalkan variabilitas dan meningkatkan kualitas produksi. Hal ini sesuai dengan temuan Ngunzi et al. [5], yang juga menggunakan teknik optimasi untuk meningkatkan kinerja sistem manufaktur dan mencapai hasil yang optimal. Dalam konteks ini, teknik Taguchi mampu memberikan solusi yang terukur untuk mencapai keseimbangan antara throughput yang tinggi dan bottleneck yang minim.

Secara keseluruhan, hasil penelitian ini membuktikan bahwa kombinasi antara Simulasi DES dan teknik optimasi Taguchi sangat efektif untuk meningkatkan kinerja produksi dalam industri

manufaktur. Diharapkan, penerapan metode ini dapat memberikan kontribusi signifikan terhadap strategi peningkatan kinerja produksi di sektor manufaktur, khususnya dalam hal peningkatan throughput dan pengurangan hambatan dalam proses produksi.

Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada semua pihak yang telah memberikan dukungan dan kontribusi dalam penyelesaian penelitian ini. Kami juga mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah berpartisipasi dalam pengumpulan data dan eksperimen.

Daftar Pustaka

- [1] Muchtar D. Bottleneck Analysis in Garment Production Process Using Simulation Approach (ProModel). *Jurnal Teknologika*. 2025 May 13;15(1):643-51. <https://doi.org/10.51132/teknologika.v15i1.457>
- [2] Muchtar D, Velani RY, Handayani ST. Proposed ProModel Implementation to Increase Production Quantity at PT ABC. *Jurnal Teknologika*. 2025 Nov 30;15(2):917-25. <https://doi.org/10.51132/teknologika.v15i2.543>
- [3] Ihsan MI, Wismono D, Muchtar D. Simulasi Sistem Antrian Loker Parkir Kendaraan di Mall STS (Sadang Terminal Square). *Jurnal Teknologika*. 2024 May 31;14(1):153-61. <https://doi.org/10.51132/teknologika.v14i1.380>
- [4] D. Mourtzis, N. Papakostas, D. Mavrikios, S. Makris, and K. Alexopoulos, "The role of simulation in digital manufacturing: applications and outlook," *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, vol. 28, no. 1, pp. 3–24, Sep. 2013, doi: <https://doi.org/10.1080/0951192x.2013.800234>.
- [5] V. Ngunzi, F. Njoka, and R. Kinyua, "Modeling, simulation and performance evaluation of a PVT system for the Kenyan manufacturing sector," *Heliyon*, vol. 9, no. 8, p. e18823, Aug. 2023, doi: <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e18823>.
- [6] Y. Li, Y. He, R. Liao, Xin Xiao Zheng, and W. Dai, "Integrated predictive maintenance approach for multistate manufacturing system considering geometric and non-geometric defects of products," vol. 228, pp. 108793–108793, Aug. 2022, doi: <https://doi.org/10.1016/j.res.2022.108793>.
- [7] H. T. Shubbar, F. Tahir, and T. Al-Ansari, "Bridging Qatar's food demand and self-sufficiency: A system dynamics simulation of the energy–water–food nexus," *Sustainable Production and Consumption*, Feb. 2024, doi: <https://doi.org/10.1016/j.spc.2024.02.017>.
- [8] S. Akter Jahan, M. Al Hasan, and H. El-Mounayri, "A framework for graph-base neural network using numerical simulation of metal powder bed fusion for correlating process parameters and defect generation," *Manufacturing Letters*, vol. 33, pp. 765–775, Sep. 2022, doi: <https://doi.org/10.1016/j.mfglet.2022.07.095>.
- [9] M. Pekarcikova, P. Trebuna, M. Kliment, and M. Dic, "Solution of Bottlenecks in the Logistics Flow by Applying the Kanban Module in the Tecnomatix Plant Simulation Software," *Sustainability*, vol. 13, no. 14, p. 7989, Jul. 2021, doi: <https://doi.org/10.3390/su13147989>.
- [10] C. L. Alves et al., "Integrated process simulation of porcelain stoneware manufacturing using flowsheet simulation," *Cirp Journal of Manufacturing Science and Technology*, vol. 33, pp. 473–487, May 2021, doi: <https://doi.org/10.1016/j.cirpj.2021.04.011>.
- [11] G. Werker, A. Sauré, J. French, and S. Shechter, "The use of discrete-event simulation modelling to improve radiation therapy planning processes," *Radiotherapy and Oncology*, vol. 92, no. 1, pp. 76–82, Jul. 2009, doi: <https://doi.org/10.1016/j.radonc.2009.03.012>.
- [12] Koulouris A., Misailidis N., Petrides D. (2021). Applications of process and digital twin models for production simulation and scheduling in the manufacturing of food ingredients and products. *Food and Bioproducts Processing*, 126, 317-333. <https://doi.org/10.1016/j.fbp.2021.01.016>
- [13] H. T. Shubbar, F. Tahir, and T. Al-Ansari, "Bridging Qatar's food demand and self-sufficiency: A system dynamics simulation of the energy–water–food nexus," *Sustainable Production and Consumption*, Feb. 2024, doi: <https://doi.org/10.1016/j.spc.2024.02.017>.
- [14] Y. Li, Y. He, R. Liao, Xin Xiao Zheng, and W. Dai, "Integrated predictive maintenance approach for multistate manufacturing system considering geometric and non-geometric defects of products," vol. 228, pp. 108793–108793, Aug. 2022, doi: <https://doi.org/10.1016/j.res.2022.108793>.

- [15] Vaghefi and V. Sarhangian, "Contribution of simulation to the optimization of inspection plans for multi-stage manufacturing systems," *Computers & Industrial Engineering*, vol. 57, no. 4, pp. 1226–1234, Nov. 2009, doi: <https://doi.org/10.1016/j.cie.2009.06.001>.
- [16] Khanthirat, W., Phokha, S., Warorot, W., Wichapa, N., & Sriburum, A. (2025). Multi-Response Optimization of an Automated Grass-Flower Beating Machine Using Taguchi and WASPAS in Broom Production. *Engineering, Technology & Applied Science Research*, 15(5), 27542-27550. <https://doi.org/10.48084/etasr.12774>
- [17] Mughtar D, Moengin P, Surjasa D, Cahyati S. Bottleneck Analysis and Improvement in Apparel Manufacturing Production Processes Using Integration Design of Experiments and Discrete Event Simulation. *Advance Sustainable Science Engineering and Technology*. 2026 Apr 26;8(2):02602038-. <https://doi.org/10.26877/asset.v8i2.3288>